

# SIFAT MEKANIS DAN FISIS BIOPLASTIK DARI LIMBAH KULIT PISANG: PENGARUH JENIS DAN KONSENTRASI PEMLASTIS

Aprilina Purbasari, Anissa Ardanti Wulandari, Fikri Mudzakir Marasabessy

Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro  
Jl. Prof. Soedarto, Tembalang, Semarang 50275

E-mail: aprilina.purbasari@che.undip.ac.id

9 Januari 2020; 20 Februari 2020; 22 September 2020

## ABSTRAK

**SIFAT MEKANIS DAN FISIS BIOPLASTIK DARI LIMBAH KULIT PISANG: PENGARUH JENIS DAN KONSENTRASI PEMLASTIS.** Pada penelitian ini, limbah kulit pisang dimanfaatkan sebagai bahan baku bioplastik dengan variasi jenis dan konsentrasi pemlastis. Penelitian ini terdiri dari 3 tahap, yaitu tahap awal pembuatan tepung kulit pisang, dilanjutkan dengan tahap pembuatan bioplastik, dan tahap akhir karakterisasi sifat mekanis dan fisis bioplastik yang dihasilkan. Pada pembuatan bioplastik, pemlastis yang digunakan adalah gliserol dan sorbitol dengan konsentrasi masing-masing 30%; 40%; 50%; 60%; dan 70%. Karakterisasi sifat mekanis dan fisis bioplastik meliputi: kuat tarik, perpanjangan putus, ketebalan, permeasi uap air, biodegradabilitas, dan mikrostruktur. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi pemlastis baik gliserol maupun sorbitol dapat menurunkan kuat tarik serta meningkatkan perpanjangan putus, ketebalan, permeasi uap air, dan biodegradabilitas pada bioplastik yang dihasilkan. Berdasarkan uji mikrostruktur, bioplastik dengan pemlastis gliserol dan pemlastis sorbitol memiliki struktur yang relatif sama. Kondisi optimum pembuatan bioplastik dari tepung kulit pisang baik dengan pemlastis gliserol maupun sorbitol adalah pada konsentrasi pemlastis 40% dengan kuat tarik masing-masing 8,07 MPa dan 8,32 MPa; perpanjangan putus 27,22% dan 23,78%; ketebalan 0,1 mm dan 0,2 mm; permeasi uap air 0,00024 g/m<sup>2</sup>.s.kPa dan 0,00025 g/m<sup>2</sup>.s.kPa; dan kehilangan massa pada uji degradabilitas selama 4 minggu sebesar 25,45% dan 21,73%.

Kata kunci : bioplastik, kulit pisang, gliserol, pemlastis, sorbitol

## ABSTRACT

**MECHANICAL AND PHYSICAL PROPERTIES OF BIOPLASTICS FROM BANANA PEEL WASTE: THE EFFECT OF TYPE AND CONCENTRATION OF PLASTICIZERS.** In this research, banana peel waste was used as bioplastic raw material with variations in the type and concentration of plasticizers. This research consisted of 3 stages, namely initial stage of banana peel flour preparation, followed by the stage of bioplastics preparation, and the final stage of mechanical and physical characterization of obtained bioplastics. In bioplastics preparation, plasticizers used were glycerol and sorbitol with concentration of 30%; 40%; 50%; 60%; and 70%, respectively. Characterization of mechanical and physical properties of bioplastics comprised: tensile strength, elongation at break, thickness, water vapor permeation, biodegradability, and microstructure. The results showed that increasing the plasticizer concentration of both glycerol and sorbitol could decrease tensile strength and increase elongation at break, thickness, water vapor permeation, and biodegradability of obtained bioplastics. Based on the microstructure test, bioplastics with glycerol plasticizer and sorbitol plasticizer had relatively similar structures. The optimum conditions for bioplastics preparation from banana peel flour with glycerol plasticizer and sorbitol plasticizer were at plasticizer concentration of 40% with a tensile strength of 8.07 MPa and 8.32 MPa; elongation at break of 27.22% and 23.78%; thickness of 0.1 mm and 0.2 mm; water vapor permeation of 0.00024 g/m<sup>2</sup>.s.kPa and 0.00025 g/m<sup>2</sup>.s.kPa; and mass loss in degradability test for 4 weeks of 25.45% and 21.73%, respectively.

Key words : bioplastics, banana peel, glycerol, plasticizer, sorbitol

## PENDAHULUAN

Bioplastik dapat didefinisikan sebagai plastik dari sumber daya alam terbarukan atau sebagai plastik yang dapat terurai secara alami (Jabeen, Majid, and Nayik 2015). Pemakaian bioplastik sebagai bahan kemasan diharapkan menjadi salah satu cara untuk menanggulangi pencemaran lingkungan yang diakibatkan plastik

konvensional. Bahan yang dapat digunakan untuk membuat bioplastik adalah senyawa polisakarida, protein, dan lemak. Salah satu sifat bioplastik yang merupakan kelemahannya adalah mudah rapuh atau tidak fleksibel seperti plastik konvensional. Sifat bioplastik yang mudah rapuh tersebut dapat diperbaiki dengan

penambahan *plasticizer* atau pemlastis. Pemlastis pada umumnya mempunyai ukuran molekul kecil sehingga dapat masuk dan mengubah struktur molekul polimer menjadi lebih fleksibel serta mencegah terbentuknya pori-pori dan retakan pada matriks polimer. Gliserol dan sorbitol merupakan pemlastis yang telah banyak digunakan pada bioplastik dari polisakarida (Vieira et al. 2011).

Pisang (*Musa spp.*) merupakan tanaman yang mudah tumbuh di daerah tropis dan subtropis. Buah pisang merupakan buah yang paling banyak diproduksi di dunia setelah jeruk. Buah pisang memiliki kandungan nutrisi yang tinggi dan mudah dicerna. Sebagai gambaran, pisang memerlukan waktu sekitar 105 menit untuk dicerna tubuh, sedangkan apel memerlukan waktu 210 menit (Mohapatra, Mishra, and Sutar 2010). Di Indonesia terdapat berbagai macam jenis buah pisang, yaitu pisang susu, pisang mas, pisang ambon, pisang raja, pisang kapok, dan pisang tanduk (Palupi 2012).

Pemanfaatan buah pisang sebagai bahan makanan akan menghasilkan kulit pisang. Limbah kulit pisang tersebut dapat dimanfaatkan sebagai bahan pembuatan bioplastik. Penelitian pemanfaatan pati kulit pisang sebagai bahan bioplastik telah dilakukan antara lain oleh Widyarningsih et al. (2012), Utami et al. (2014), serta Agustin dan Padmawijaya (2016). Selain pati, bioplastik juga dapat dibuat dari tepung seperti tepung beras (Dias et al. 2010), tepung biji nangka (Purbasari, Ariani, and Mediani 2014), dan tepung singkong (Mulyono, Suhartono, and Angelina 2015).

Pada penelitian ini, limbah kulit pisang dibuat menjadi tepung dan dimanfaatkan sebagai bahan baku bioplastik dengan pemlastis gliserol dan sorbitol pada berbagai konsentrasi. Pengaruh jenis dan konsentrasi pemlastis terhadap sifat mekanis dan fisis bioplastik yang dihasilkan meliputi: kuat tarik, perpanjangan putus, ketebalan, permeasi uap air, biodegradabilitas, dan mikrostruktur, akan dikaji lebih lanjut.

## BAHAN DAN METODE

### Bahan

Bahan utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah kulit pisang raja yang diperoleh dari penjual pisang keju di Kota Semarang. Bahan lain yang digunakan adalah gliserol dan sorbitol sebagai pemlastis, Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (natrium metabisulfit), HCl (asam klorida), serta aquadest.

### Metode

Penelitian ini terdiri dari 3 tahap, yaitu pembuatan tepung kulit pisang, pembuatan bioplastik, serta karakterisasi sifat mekanis dan

fisis bioplastik yang dihasilkan. Pada pembuatan tepung kulit pisang, mula-mula kulit pisang dipotong menjadi berukuran 2cm x 2cm. Potongan kulit pisang direndam dalam larutan Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0,2 M selama 30 menit dengan perbandingan massa kulit pisang terhadap larutan perendam 2:1 dan setelah itu ditiriskan. Perendaman dengan larutan Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub> bertujuan untuk mencegah reaksi pencoklatan dan menghambat pertumbuhan mikroba (Palupi 2012). Kulit pisang kemudian dikeringkan dengan sinar matahari selama 2 hari dan dilanjutkan dengan oven pada suhu 55 °C selama 4 jam. Kulit pisang kering selanjutnya dihaluskan dengan blender hingga diperoleh tepung kulit pisang. Kandungan tepung kulit pisang yang diperoleh diketahui dari hasil analisis proksimat seperti ditunjukkan oleh Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Hasil analisis proksimat tepung kulit pisang

Parameter	Kadar (%)
Karbohidrat	78,21
Lemak	6,79
Protein	7,63
Air	5,49
Abu	1,88

Pada tahap pembuatan bioplastik, 5 g tepung kulit pisang dicampur dengan 5 ml larutan HCl 0,25 M, aquadest, dan pemlastis pada berbagai jenis dan konsentrasi hingga diperoleh campuran dengan massa 100 g. Jenis pemlastis yang digunakan adalah gliserol dan sorbitol, sedangkan konsentrasi masing-masing pemlastis yang digunakan adalah 30%; 40%; 50%; 60%; 70% (volume pemlastis/massa tepung kulit pisang). Campuran diaduk dan dipanaskan pada 80 °C selama 10 menit sehingga terjadi gelatinisasi. Campuran kemudian dituang pada permukaan *casting plate* berukuran 10cm x 20 cm dan dibiarkan selama 24 jam. Lembaran bioplastik yang terbentuk dilepas dari cetakan dan dimasukkan ke dalam desikator selama 1 jam.

Karakterisasi sifat mekanis dan fisis bioplastik yang dihasilkan meliputi uji *tensile strength* (kuat tarik), *elongation at break* (perpanjangan putus), ketebalan, *water vapor permeation* (permeasi uap air), biodegradabilitas, dan mikrostruktur. Uji kuat tarik, perpanjangan putus, dan ketebalan mengikuti standar ASTM D882-02 (*Standard Test Method for Tensile Properties of Thin Plastic Sheeting*). Uji permeasi uap air dilakukan sesuai standar ASTM E96-95 (*Standard Test Method for Water Vapor Transmission of Materials*). Uji biodegradabilitas dilakukan dengan *soil burial test* seperti yang dilakukan oleh (Mohamad and Saadan 2017), yaitu lembaran bioplastik dibenamkan dalam tanah dan setelah waktu tertentu massa lembaran bioplastik diamati. Persentase degradasi

berdasarkan kehilangan massa dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$\text{kehilangan massa} = \frac{m_0 - m_t}{m_0} \times 100\% \quad (1)$$

dengan  $m_0$  dan  $m_t$  masing-masing adalah massa lembaran bioplastik sebelum dan setelah ditanamkan dalam tanah. Adapun uji mikrostruktur dilakukan dengan alat *Scanning Electron Microscope* (SEM) *JEOL JSM-6510LA* dengan perbesaran 1000x pada penampang melintang bioplastik yang telah dilapisi dengan platina.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Kuat Tarik Bioplastik

Penambahan konsentrasi pemlastis akan menurunkan kuat tarik bioplastik yang dihasilkan, baik dengan pemlastis gliserol maupun sorbitol seperti ditunjukkan oleh Gambar 1. Hal ini disebabkan oleh pemlastis yang dapat membentuk ikatan hidrogen dengan molekul polimer dan selanjutnya dapat mengurangi ikatan intermolekuler dalam matriks polimer sehingga dapat mengurangi kuat tarik bioplastik (Sanyang et al. 2015).

Penurunan kuat tarik bioplastik dengan pemlastis gliserol lebih besar dibandingkan dengan pemlastis sorbitol. Hal ini menunjukkan bahwa gliserol mempunyai kemampuan sebagai pemlastis yang lebih baik dibandingkan sorbitol. Gliserol dengan bobot molekul yang lebih kecil dibandingkan sorbitol (bobot molekul gliserol 92,09 g/mol dan bobot molekul sorbitol 182,17 g/mol) dapat lebih mudah berinteraksi dengan molekul polimer. Interaksi gliserol ke dalam matriks polimer tersebut dapat mengurangi ikatan intermolekuler pada polimer dengan terbentuknya ikatan hidrogen antara gliserol dan molekul polimer yang lebih lanjut dapat mengakibatkan kekuatan antarmolekul polimer menjadi berkurang dan fleksibilitas polimer menjadi bertambah (Lagos et al. 2015; Sanyang et al. 2015).

Kuat tarik bioplastik dari tepung kulit pisang yang diperoleh dengan pemlastis gliserol berada pada rentang 3,93-8,07 MPa dan dengan pemlastis sorbitol berada pada rentang 4,53-8,83 MPa. Kuat tarik tersebut masih di bawah

kuat tarik plastik sesuai SNI, yaitu 24,7-302 MPa (Wijaya, Rosiawari, and Mulyadi 2018).

### Perpanjangan Putus Bioplastik

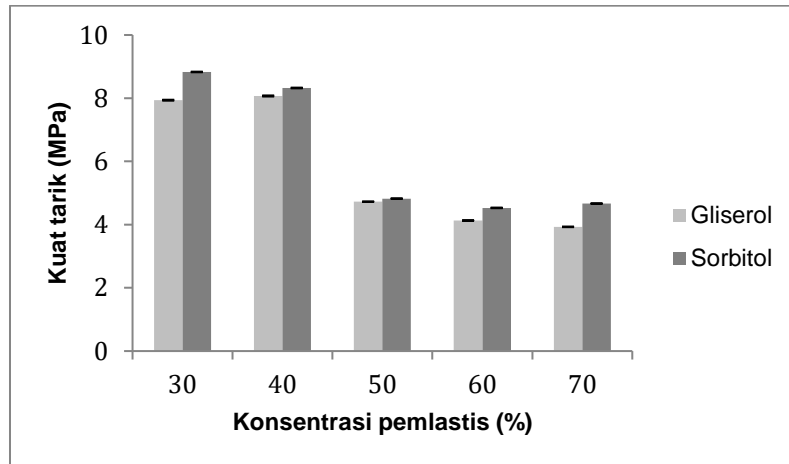
Perpanjangan putus merupakan kemampuan bioplastik berubah bentuk sebelum akhirnya putus dan dapat digunakan untuk menentukan fleksibilitas dan kelenturan bioplastik. Pemlastis dapat mengubah struktur intermolekuler polimer yang dapat mengurangi kekakuan dan meningkatkan fleksibilitas bioplastik (Sanyang et al. 2015). Penambahan konsentrasi pemlastis, baik gliserol maupun sorbitol, dapat meningkatkan perpanjangan putus dari bioplastik seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 2. Dengan demikian pemlastis dapat meningkatkan fleksibilitas bioplastik, namun juga dapat mengurangi kuat tarik bioplastik yang dihasilkan.

Perpanjangan putus bioplastik dengan pemlastis gliserol lebih besar dibandingkan dengan pemlastis sorbitol, sedangkan kuat tarik dengan pemlastis gliserol lebih kecil dibandingkan dengan pemlastis sorbitol pada konsentrasi yang sama. Hasil ini sama dengan hasil yang diperoleh Bourtoom (2008) dan Borges et al. (2015).

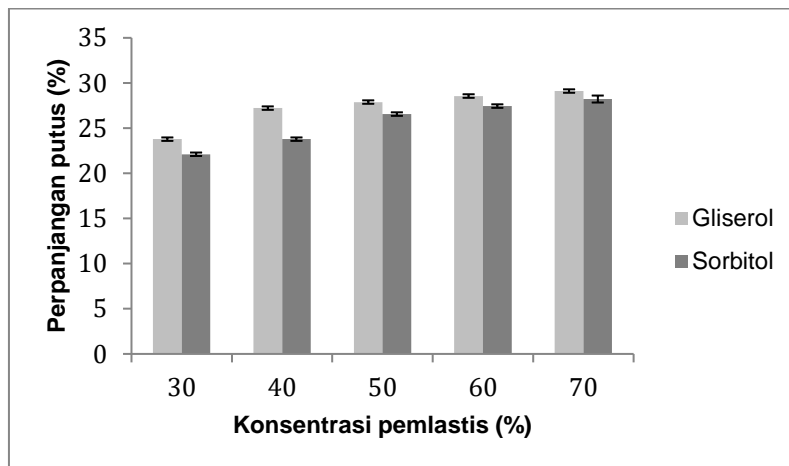
Perpanjangan putus yang diperoleh dengan pemlastis gliserol adalah 23,78-29,11% dan dengan pemlastis sorbitol adalah 22,11-28,22%. Perpanjangan putus tersebut telah memenuhi standar plastik sesuai SNI, yaitu 21-220% (Wijaya, Rosiawari, and Mulyadi 2018).

### Ketebalan Bioplastik

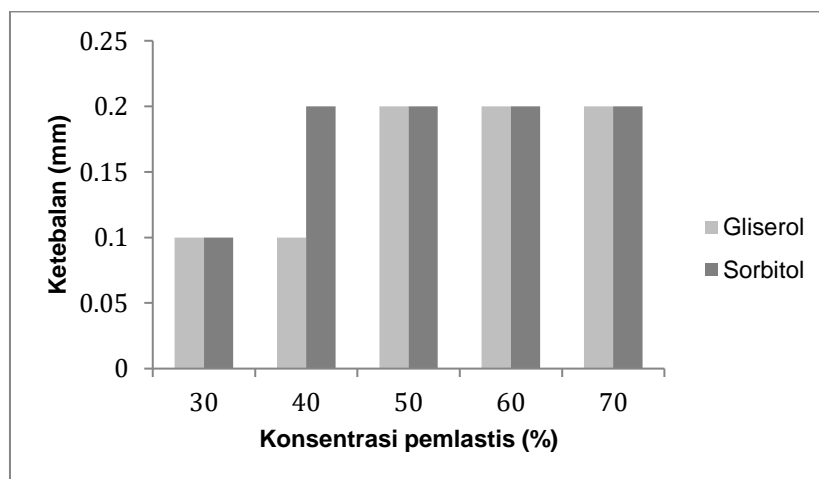
Ketebalan bioplastik yang dihasilkan dengan pemlastis gliserol dan sorbitol ditunjukkan oleh Gambar 3. Penggunaan pemlastis gliserol dengan konsentrasi 30% dan 40% menghasilkan bioplastik dengan ketebalan 0,1 mm, sedangkan dengan konsentrasi 50% hingga 70% menghasilkan bioplastik dengan ketebalan 0,2 mm. Sementara dengan pemlastis sorbitol pada konsentrasi 30 % ketebalan bioplastik 0,1 mm dan pada konsentrasi 40% hingga 70% ketebalan bioplastik 0,2 mm. Penggunaan pemlastis selain dapat mengubah struktur intermolekuler polimer juga dapat menghasilkan volume bebas yang dapat meningkatkan ketebalan bioplastik (Sanyang et al. 2016).



Gambar 1. Kuat tarik bioplastik dengan pemlastis gliserol dan sorbitol pada berbagai konsentrasi



Gambar 2. Perpanjangan putus bioplastik dengan pemlastis gliserol dan sorbitol pada berbagai konsentrasi



Gambar 3. Ketebalan bioplastik dengan pemlastis gliserol dan sorbitol pada berbagai konsentrasi

### Permeasi Uap Air Bioplastik

Permeasi uap air bioplastik merupakan kemampuan bioplastik untuk menahan perpindahan uap air antara bahan yang dikemas dan lingkungan sekitar. Permeasi uap air

bioplastik diharapkan serendah mungkin terutama jika bioplastik akan diaplikasikan sebagai bahan pengemas makanan (Sanyang et al. 2015). Bioplastik yang dihasilkan mempunyai permeasi uap air terendah pada penggunaan

peplastis dengan konsentrasi 40%, baik dengan peplastis gliserol maupun sorbitol seperti ditunjukkan oleh Gambar 4, yaitu masing-masing sebesar 0,00024 g/m<sup>2</sup>.s.kPa dan 0,00025 g/m<sup>2</sup>.s.kPa.

Penggunaan peplastis gliserol dan sorbitol dengan konsentrasi 40% selain menghasilkan bioplastik dengan permeasi uap air terendah juga menghasilkan bioplastik dengan kuat tarik dan perpanjangan putus yang relatif tinggi dibandingkan konsentrasi lainnya. Dengan demikian kondisi optimum pembuatan bioplastik dari tepung kulit pisang baik dengan peplastis gliserol maupun sorbitol adalah pada konsentrasi 40%.

### Biodegradabilitas Bioplastik

Degradasi plastik atau polimer dapat terjadi dengan adanya mikroorganisme (bakteri, jamur, *actinomyces*) yang menggunakan karbon dari plastik atau polimer sebagai energi untuk proses metabolismenya dengan produk metabolitnya CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, dan CH<sub>4</sub>. Mekanisme degradasi plastik atau polimer pada umumnya melalui reaksi hidrolisis, yaitu pemotongan rantai acak pada gugus fungsional yang menyebabkan pengurangan bobot molekul. Proses hidrolisis ini dipengaruhi oleh laju difusi air melalui polimer. Polimer yang dapat terdegradasi secara alami biasanya mengandung gugus fungsional yang dapat terhidrolisis seperti ester dan amida. Selain struktur kimia polimer, faktor lingkungan seperti suhu, kelembaban, oksigen, dan pH juga mempengaruhi biodegradabilitas plastik atau polimer (Vaverková et al. 2014; Pudjiastuti et al. 2010). Beberapa jenis bioplastik dapat terdegradasi oleh mikroorganisme, namun prosesnya membutuhkan faktor tambahan seperti energi termal dan radiasi UV (Markowicz, Król, and Szymanska-Pulikowska 2019).

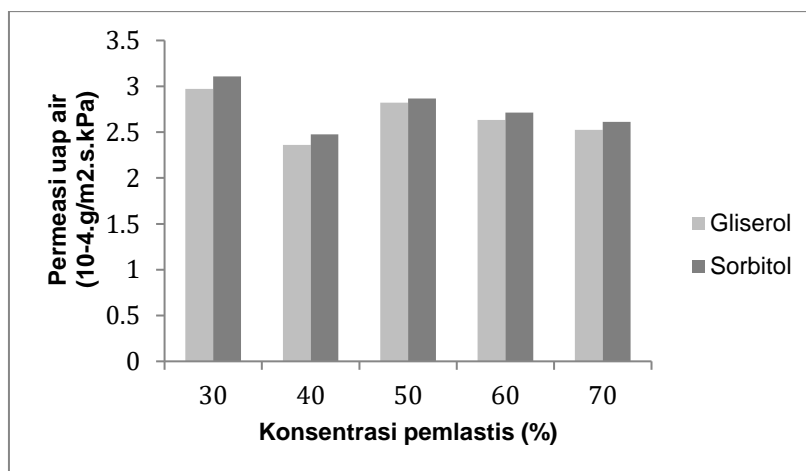
Peningkatan kadar peplastis baik gliserol maupun sorbitol dalam bioplastik dapat

meningkatkan biodegradabilitas bioplastik. Hal ini tampak dari peningkatan kehilangan massa pada bioplastik seperti ditunjukkan oleh Gambar 5 dengan peplastis gliserol dan Gambar 6 dengan peplastis sorbitol. Kehilangan massa bioplastik paling besar diperoleh pada waktu pemendaman 4 minggu, yaitu mencapai 38,59% dengan peplastis gliserol 70% dan 32,55% dengan peplastis sorbitol 70%. Gliserol dan sorbitol mempunyai gugus hidroksil yang dapat mengikat air. Gliserol dengan 3 gugus hidroksil mempunyai afinitas dengan air yang lebih baik dibandingkan sorbitol yang mempunyai 6 gugus hidroksil (Lagos et al. 2015). Hal ini menyebabkan bioplastik dengan peplastis gliserol akan lebih mudah menyerap air dan selanjutnya akan lebih mudah terdegradasi (Wahyuningtiyas and Suryanto 2017).

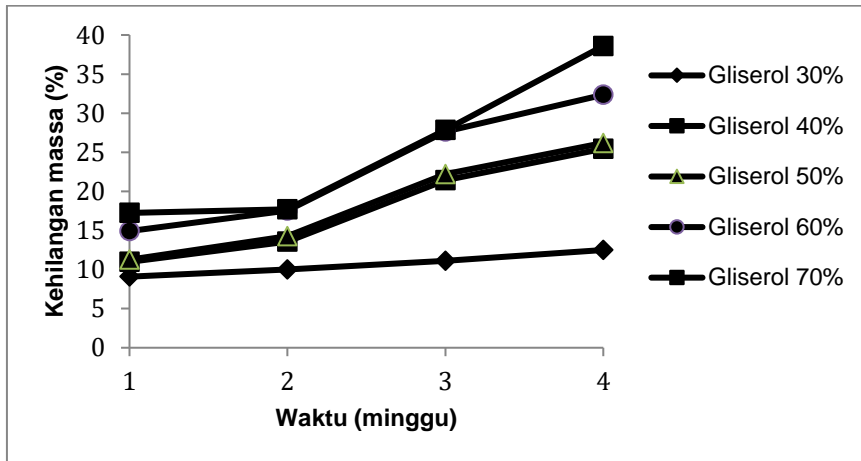
### Mikrostruktur Bioplastik

Penampakan visual bioplastik baik dengan peplastis gliserol 40% maupun sorbitol 40% berwarna kecoklatan seperti terlihat pada Gambar 7. Hal ini dapat disebabkan oleh kandungan protein dalam tepung kulit pisang yang dapat menginduksi reaksi pencoklatan (Cornelia et al. 2013). Warna bioplastik dengan peplastis sorbitol tampak lebih terang dibandingkan dengan peplastis gliserol. Hasil ini serupa dengan hasil yang diperoleh Maruddin et al. (2017).

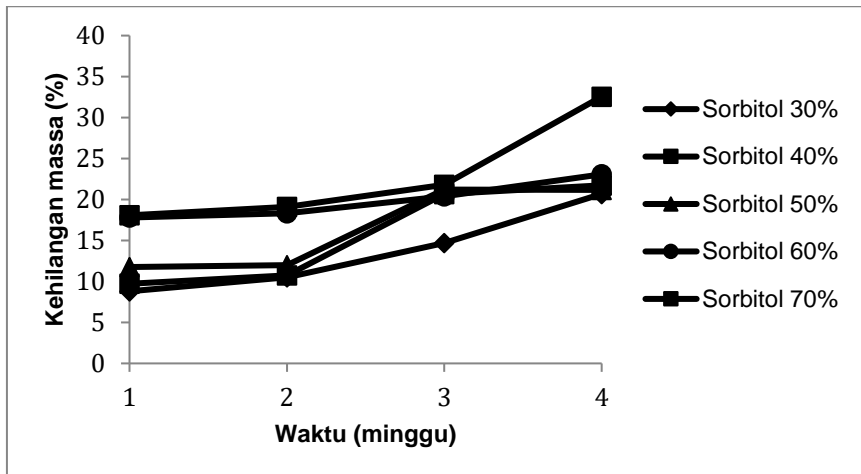
Uji mikrostruktur dengan SEM dilakukan terhadap bioplastik dengan peplastis gliserol 40% dan peplastis sorbitol 40%. Hasil SEM pada penampang melintang bioplastik pada Gambar 8 baik dengan peplastis gliserol maupun sorbitol menunjukkan bahwa bioplastik mempunyai struktur yang tidak teratur ditandai dengan adanya alur-alur. Adanya alur-alur tersebut dapat disebabkan oleh adanya *microbubbles* yang terbentuk selama proses gelatinisasi (Santana et al. 2018).



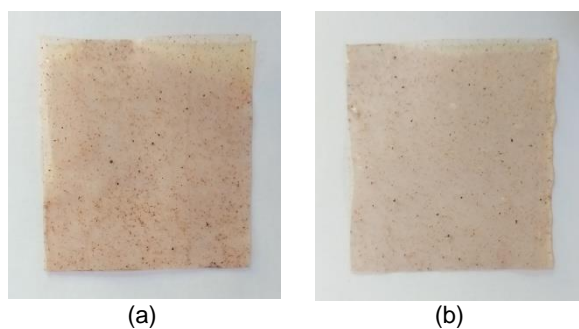
Gambar 4. Permeasi uap air bioplastik dengan peplastis gliserol dan sorbitol pada berbagai konsentrasi



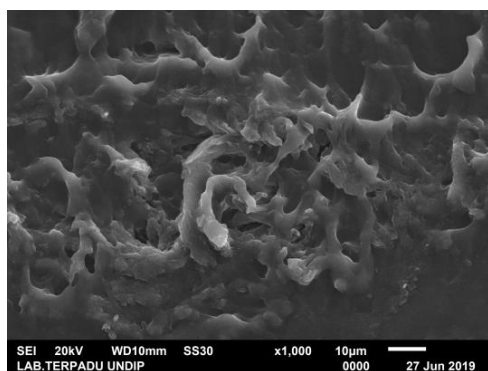
Gambar 5. Kehilangan massa bioplastik dengan pemlastis gliserol setelah *soil burial test* pada berbagai waktu



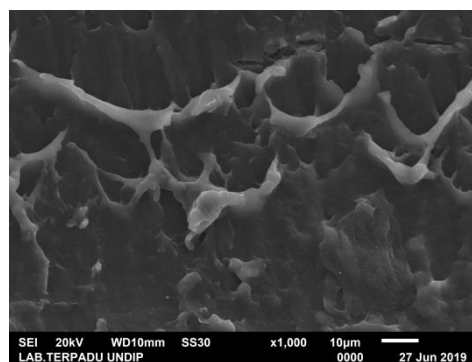
Gambar 6. Kehilangan massa bioplastik dengan pemlastis sorbitol setelah *soil burial test* pada berbagai waktu



Gambar 7. Penampakan visual bioplastik dengan pemlastis gliserol (a) dan sorbitol (b)



(a)



(b)

Gambar 8. Mikrograf SEM bioplastik dengan pemlastis gliserol (a) dan sorbitol (b)

Karakteristik bioplastik dari tepung kulit pisang meliputi: kuat tarik, perpanjangan putus, ketebalan, permeasi uap air, biodegradabilitas, dan mikrostruktur telah diperoleh. Bioplastik dari tepung kulit pisang baik dengan pemlastis gliserol maupun sorbitol memiliki perpanjangan putus yang memenuhi standar plastik sesuai SNI, namun untuk kuat tariknya masih belum memenuhi standar plastik sesuai SNI. Agar bioplastik dari tepung kulit pisang dapat diaplikasikan sebagai bahan kemasan, maka pada pembuatan bioplastik dapat ditambahkan bahan polimer lain atau bahan pengisi untuk meningkatkan kuat tarik (Gadhawe et al. 2018). Sultan dan Johari (2017) menambahkan pati jagung, sementara itu Widyarningsih, Kartika, dan Nurhayati (2012) menambahkan kalsium karbonat sebagai bahan pengisi pada pembuatan bioplastik dari pati kulit pisang dan memperoleh bioplastik dengan kuat tarik >24,7 MPa yang merupakan kuat tarik minimum plastik berdasarkan SNI.

## KESIMPULAN

Bioplastik dapat dibuat dari tepung kulit pisang. Peningkatan konsentrasi pemlastis baik gliserol maupun sorbitol dapat menurunkan kuat tarik serta meningkatkan perpanjangan putus, ketebalan, permeasi uap air, dan biodegradabilitas pada bioplastik yang dihasilkan. Adapun uji mikrostruktur menunjukkan bahwa bioplastik dengan pemlastis gliserol dan pemlastis sorbitol memiliki struktur yang relatif sama. Dari hasil uji yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa gliserol relatif lebih baik sebagai pemlastis dibandingkan sorbitol.

## DAFTAR PUSTAKA

- Agustin, Y. E., and K. S. Padmawijaya. 2016. "Sintesis Bioplastik Dari Kitosan-Pati Kulit Pisang Kepok Dengan Penambahan Zat Aditif." *Jurnal Teknik Kimia* 10 (2): 40–48.
- Borges, J. A., V. P. Romani, W. R. Cortez-Vega, and V. G. Martins. 2015. "Influence of Different Starch Sources and Plasticizers on Properties of Biodegradable Films." *International Food Research Journal* 22 (6): 2346–51.
- Bourtoom, T. 2008. "Plasticizer Effect on the Properties of Biodegradable Blend from Rice Starch-Chitosan." *Songklanakarin Journal of Science and Technology* 30 (SUPPL. 1): 149–55.
- Cornelia, M., R. Syarief, H. Effendi, and B. Nurtama. 2013. "Pemanfaatan Pati Biji Durian (*Durio Zibethinus* Murr.) Dan Pati Sagu (*Metroxylon* Sp.) Dalam Pembuatan Bioplastik." *Jurnal Kimia Dan Kemasan* 35 (1): 20–29.
- Dias, A. B., C. M.O. Müller, F. D. S. Larotonda, and J. B. Laurindo. 2010. "Biodegradable Films Based on Rice Starch and Rice Flour." *Journal of Cereal Science* 51 (2): 213–19. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2009.11.014>.
- Gadhawe, R. V., A. Das, P. A. Mahanwar, and P. T. Gadekar. 2018. "Starch Based Bio-Plastics: The Future of Sustainable Packaging." *Open Journal of Polymer Chemistry* 08 (02): 21–33. <https://doi.org/10.4236/ojpcem.2018.82003>.
- Jabeen, N., I. Majid, and G. A. Nayik. 2015. "Bioplastics and Food Packaging: A Review." *Cogent Food & Agriculture* 1 (1): 1–6. <https://doi.org/10.1080/23311932.2015.1117749>.
- Lagos, J. B., N. M. Vicentini, R. M. C. Dos Santos, A. M. Q. B. Bittante, and P. J. A. Sobral. 2015. "Mechanical Properties of Cassava Starch Films as Affected by Different Plasticizers and Different Relative Humidity Conditions." *International Journal of Food Studies* 4 (1): 116–25. <https://doi.org/10.7455/ijfs.v4i1.293>.
- Markowicz, F., G. Król, and A. Szymanska-

- Pulikowska. 2019. "Biodegradable Package - Innovative Purpose or Source of the Problem." *Journal of Ecological Engineering* 20 (1): 228–37. <https://doi.org/10.12911/22998993/94585>.
- Maruddin, F., A. Ako, H. Hajrawati, and M. Taufik. 2017. "Karakteristik Edible Film Berbahan Whey Dan Kasein Yang Menggunakan Jenis Plasticizer Berbeda." *Jurnal Ilmu Dan Teknologi Peternakan* 5 (2): 97–101.
- Mohamad, Z., and M. Z. H. Saadan. 2017. "Biodegradability and Tensile Properties of Compatibilised Polyethylene/Rice Bran Film." *Chemical Engineering Transactions* 56: 919–24. <https://doi.org/10.3303/CET1756154>.
- Mohapatra, D., S. Mishra, and N. Sutar. 2010. "Banana and Its By-Product Utilisation: An Overview." *Journal of Scientific and Industrial Research* 69 (5): 323–29.
- Mulyono, N., M. T. Suhartono, and S. Angelina. 2015. "Development of Bioplastic Based on Cassava Flour and Its Starch Derivatives for Food Packaging." *Journal of Harmonized Research in Applied Sciences* 3 (2): 125–32.
- Palupi, H. T. 2012. "Pengaruh Jenis Pisang Dan Bahan Perendam Terhadap Karakteristik Tepung Pisang (*Musa Spp.*)" *Teknologi Pangan : Media Informasi Dan Komunikasi Ilmiah Teknologi Pertanian* 4 (1). <https://doi.org/10.35891/tp.v4i1.21>.
- Pudjiastuti, W., S. Sudirman, A. Haryono, and D. Deswita. 2010. "Aplikasi Teknologi Kemasan Yang Ramah Lingkungan Dan Prospeknya." *Jurnal Kimia Dan Kemasan* 32 (1): 19. <https://doi.org/10.24817/jkk.v32i1.2737>.
- Purbasari, A., E. F. Ariani, and R. K. Mediani. 2014. "Bioplastik Dari Tepung Dan Pati Biji Nangka." In *Proding Seminar Nasional Sains Dan Teknologi*, 54–59. Semarang: Fakultas Teknik Universitas Wahid Hasyim.
- Santana, R. F., R. C. F. Bonomo, O. R. R. Gandolfi, L. B. Rodrigues, L. S. Santos, A. C. dos Santos Pires, C. P. de Oliveira, R. da Costa Ilhéu Fontan, and C. M. Veloso. 2018. "Characterization of Starch-Based Bioplastics from Jackfruit Seed Plasticized with Glycerol." *Journal of Food Science and Technology* 55 (1): 278–86. <https://doi.org/10.1007/s13197-017-2936-6>.
- Sanyang, M. L., S. M. Sapuan, M. Jawaid, M. R. Ishak, and J. Sahari. 2015. "Effect of Plasticizer Type and Concentration on Tensile, Thermal and Barrier Properties of Biodegradable Films Based on Sugar Palm (*Arenga Pinnata*) Starch." *Polymers* 7 (6): 1106–24. <https://doi.org/10.3390/polym7061106>.
- . 2016. "Effect of Plasticizer Type and Concentration on Physical Properties of Biodegradable Films Based on Sugar Palm (*Arenga Pinnata*) Starch for Food Packaging." *Journal of Food Science and Technology* 53 (1): 326–36. <https://doi.org/10.1007/s13197-015-2009-7>.
- Sultan, N. F. K., and W. L. W. Johari. 2017. "The Development of Banana Peel/Corn Starch Bioplastic Film: A Preliminary Study." *Bioremediation Science and Technology Research* 5 (1): 12–17.
- Utami, M. R., L. Latifah, and N. Widiarti. 2014. "Sintesis Plastik Biodegradable Dari Kulit Pisang Dengan Penambahan Kitosan Dan Plasticizer Gliserol." *Indonesia Journal of Chemical Science* 3 (2): 163–67.
- Vaverková, M., D. Adamcová, J. Kotovicová, and F. Toman. 2014. "Evaluation of Biodegradability of Plastics Bags in Composting Conditions." *Ecological Chemistry and Engineering S* 21 (1): 45–57. <https://doi.org/10.2478/eces-2014-0004>.
- Vieira, M. G. A., M. A. Da Silva, L. O. Dos Santos, and M. M. Beppu. 2011. "Natural-Based Plasticizers and Biopolymer Films: A Review." *European Polymer Journal* 47 (3): 254–63. <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2010.12.011>.
- Wahyuningtiyas, N. E., and H. Suryanto. 2017. "Analysis of Biodegradation of Bioplastics Made of Cassava Starch." *Journal of Mechanical Engineering Science and Technology* 1 (1): 24–31. <https://doi.org/10.17977/um016v1i12017p024>.
- Widyaningsih, S., D. Kartika, and Y. T. Nurhayati. 2012. "Pengaruh Penambahan Sorbitol Dan Kalsium Karbonat Terhadap Karakteristik Dan Sifat Biodegradasi Film Dari Pati Kulit Pisang." *Molekul* 7 (1): 69–81.
- Wijaya, R. S., F. Rosiawari, and E. Mulyadi. 2018. "Plastik Biodegradable Dari Limbah Kerak Nira." *Jurnal Envirotek* 10 (1): 20–27.